Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 19, No. 3, Fall. 2021, p. 219-232

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۹، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص. ۲۳۲-۲۱۹

مقاله پژوهشی

اثر تنش خشکی بر روی رشد اندام‌های هوایی و زیرزمینی کوشیا (*Kochia scoparia* L.) تحت شرایط گلخانه

بی بی الهه موسوی‌فر[1]، حمیدرضا خزاعی[2*]، محمد کافی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۷

چکیده

مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی در گیاه کوشیا در قالب طرح کـاملاً تصـادفی بـا ۳ تکـرار در گلخانـه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد. ۹ تیمار خشکی شامل: شاهد (بدون تنش) (۱۰۰٪ ظرفیت زراعـی)، تـنش ملایـم (۷۰٪ ظرفیت زراعی) در مرحله رویشی، تنش شدید (۳۰٪ ظرفیت زراعی) در مرحله رویشی، تنش ملایم در مرحله زایشی، تنش شدید در مرحله زایشی، تـنش ملایم در مرحله رویشی و تنش شدید در مرحله زایشی، تنش شدید در مرحله رویشی و تنش ملایم در مرحله زایشی، تنش ملایـم در کـل دوره رشـد و تنش شدید در کل دوره رشد گیاه بودند. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، ساقه و کل اندام هـوایی به‌ترتیب در تیمارهای شاهد و تنش شدید در کل دوره رشد گیاه مشاهده شد. همچنین بین تیمارهای خشکی از نظر طول، سطح، حجم، وزن تر و خشک ریشه و نسبت طول ریشه به ارتفاع بوته تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. تیمار شاهد و تیمار تنش شدید خشکی در کل دوره رشـد بـه‌ترتیـب بیشـترین و کمترین میزان را در سطح، حجم، وزن تر و خشک ریشه دارا بودند. بین تیمارهای مختلف خشکی از نظر تعداد شاخه جانبی و نسبت وزن خشک ریشـه به اندام هوایی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در کل رشد اندام هوایی و زیرزمینی در شرایط خشکی بسته به مرحله رشدی گیاه، شـدت و مـدت تـنش کاهش یافت اما همواره و تحت هر شرایطی یک تناسب یکسان بین این دو بخش گیاه وجود داشت.

واژه‌های کلیدی: ریخت‌شناسی ریشه، کم آبیاری، گیاه شورزیست، مطالعه گلدانی

مقدمه

یکی از چالش‌های پیش روی آینده‌ی صنعت کشاورزی افزایش تولید محصول کشاورزی در شرایط کاهش شدید منابع آب است (Demirevska *et al.*, 2008) و عـواملی نظیـر افزایش هزینه‌های به‌کارگیری سیستم‌های پیشرفتـه‌ی آبیاری، کاهش کیفیت آب و افزایش هزینه‌های پمپاژ نیز بـر نیاز مبرم کشاورزان در زمینه بـه‌کـارگیری هدفمند روش‌های کم‌آبیاری تأکیـد می‌کند (Li *et al*, 2011). از طرفی با توجه به نیاز روزافزون کشور به تأمین غذا و تولید فرآورده‌های دامی باید مطالعات بیشـتری بـر روی گیاهان علوفه‌ای جدید با عملکرد بالا، کیفیت مطلوب و نیاز آبی کم انجام شود و استفاده از آن‌ها در تغذیه دام مورد بررسی و ارزیابی بیشـتری قرار گیرد.

زیسـت‌بـوم بیابانی ایران به‌ویژه اراضی حاشیه کویرها پوشیده از بوته‌های گیاهان مقاوم به شوری (شورزیست‌هـا) مـی‌باشند که از نظر کمیت و ارزش غذایی نسبتاً خوب هستند و با مدیریت بهینه می‌توانند نقش مهمی در تأمین علوفه‌ی دام‌های اهلـی خصوصاً در فصول پاییز و زمستان ایفا نماینـد (Ahmadi, 2003) و به دلیل هزینه جایگزینی کمتر نسبت به گیاهان زراعی مـی‌تواننـد باعث بهبود بازده اقتصادی گردند. از جمله این گیاهان شورزیست می‌توان به کوشیا اشـاره کـرد. کوشیا (*Kochia scoparia* L.) گیاهی علفی، یک ساله و از خـانواده چلیپاییان است که دامنه گسترش آن وسیع است و سازگاری زیادی با دماها و اقلیم‌های متفـاوت دارد (Friesen *et al.*, 2009). بنـابراین از جمله گیاهانی است که قابلیت رشد در محیط‌های مختلف را داشـته و امکان بهره‌برداری از آن به‌عنوان یک گیاه ارزشمند جهت تولید علوفه وجود دارد. مطالعات مختلفی در ارتباط با کیفیت علوفه کوشـیا انجـام گرفته است که حاکی از کیفیت علوفـه‌ای مناسـب آن مـی باشـد بـه طوری که مراحل اولیه رشد تا مرحله گلدهی، علوفه ایـن گیـاه ارزش غذایی مناسبی دارد و به‌صورت علوفـه خشـک و یـا چـرای مسـتقیم می‌توان از آن اسـتفاده کـرد (Nabati *et al.*, 2011; Riasi *et al.*, 2008). ترکیب شیمیایی کوشیا تقریبـاً مشـابه یونجـه اسـت، از نظـر میزان مواد معدنی بالاتر، از نظر فیبر پایین‌تر و از نظر پروتئین تقریبـاً مساوی است (Waldron *et al.*, 2010). به‌عـلاوه کوشـیا، گونـه‌ای

۱- دانشجوی دکتـری فیزیولـوژی گیاهـان زراعـی، دانشـکده کشـاورزی، دانشـگاه فردوسی مشهد
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: h.khazaie@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v19i1.70442

بسیار متحمل به شوری و خشکی است. رشد سریع و تولید عملکرد علوفه‌ای نزدیک به یونجه آن هم تنها با نصف میزان آب مورد نیاز برای تولید این گیاه، حاکی از آن است که کوشیا پتانسیل بالایی برای معرفی به‌عنوان یک گیاه علوفه‌ای مهم به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک را دارد (Jami Al-Ahmadi and Kafi, 2007).

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که آثار مخرب و زیان‌آوری روی مراحل مختلف رشدی گیاه، ساختار اندام و فعالیت آن‌ها دارد (Siddique *et al.*, 2016). تنش خشکی بر کلیه جنبه‌های رشد و نمو گیاه، به میزان مساوی اثر نمی‌گذارد. اندام‌هوایی گیاه از مهم‌ترین و محسوس‌ترین بخش‌ها در شرایط تنش کم‌آبی محسوب می‌شود. به طوری که در پژوهش‌های بسیاری کاهش در ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد و اندازه برگ، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و به طور کلی کاهش ویژگی‌های کمی و کیفی بخش هوایی گیاه در شرایط تنش گزارش شده است (Fang *et al.*, 2017; Cai *et al.*, 2017; Siddique *et al.*, 2016; Mousavi Fazl *et al.*, 2015). تنش خشکی سبب می‌شود که فشار تورژسانس در سلول‌ها کاهش یابد، این کاهش فشار موجب می‌شود تا آب کمتری در درون سلول‌ها باقی بماند و در نتیجه از حجم سلول‌ها کاسته شود که آن نیز سبب کاهش وزن سلول‌ها و به تبع آن کاهش اندازه یا توقف رشد برگ سطح فتوسنتزکننده گیاه می‌شود و از این طریق تولید مواد فتوسنتزی جهت رشد و در نهایت عملکرد رویشی گیاه کاهش می‌یابد (Kafi *et al.*, 2010b). پایرو و همکاران (Payero *et al.*, 2006) کاهش رشد را از علایم آشکار تنش آبی دانستند و بیان کردند که کاهش رشد و عملکرد گیاه به خاطر کاهش ارتفاع گیاه و کاهش شاخص سطح برگ گیاه می‌باشد. از طرفی اندام‌های هوایی گیاه کاملاً با ریشه در ارتباطند و این دو بخش به همدیگر وابسته‌اند.

ریشه، اصلی‌ترین کانال ارتباطی گیاه با آب و مواد غذایی است و لذا در بررسی روابط آب و گیاه باید به سیستم ریشه‌ی گیاه و نقش آن در جذب آب و مواد غذایی توجه داشت. نسبت ریشه و اندام‌های هوایی در گیاهان همواره متناسب است (Muller *et al.*, 2011). افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی (با اختصاص مواد فتوسنتزی بیشتر به سمت ریشه‌ها) و کاهش شاخص سطح برگ، به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های مهم سازگاری در شرایط تنش خشکی مطرح است. زیرا در چنین شرایطی میزان رشد ریشه به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از اندام هوایی بوده و بدین ترتیب سطح تعرق کاهش می‌یابد (Alizade, 2009; Fang *et al.*, 2017; Shan *et al.*, 2015; Muller *et al.*, 2011;). اما مطالعه‌ی ریشه و اندازه‌گیری پارامترهای آن به دلیل عدم سهولت در دسترسی و مشاهده‌ی آن، کاری دشوار، وقت‌گیر و پرهزینه است و همین امر سبب شده است که با وجود نقش حیاتی ریشه‌ها در گیاه در بسیاری از موارد به حساب نیایند (Eric and Robert, 2007).

از میان روش‌های متعددی که برای مطالعه‌ی ریشه وجود دارد، روش‌هایی که در آن‌ها بتوان به ریشه به‌طور کامل و بدون آسیب دسترسی پیدا کرد، دارای دقت و اعتبار بیشتری هستند و در این میان روش گلدانی به دلیل آن‌که می‌توان به کل ریشه برای داده‌برداری دست یافت، از دقت بالاتری برخوردار است (Mousavi Fazl *et al.*, 2015). در شرایط تنش، ریشه گیاهان به نقاط عمیق‌تر خاک که دارای آب قابل دسترس بیشتری است، نفوذ می‌کند. این موضوع یکی از دلایل افزایش طول ریشه‌ها و یکی از ساز و کارهای تحمل به خشکی است (Correa de Souza *et al.*, 2016). کاهش حجم، سطح و وزن تر و خشک ریشه بسته به شدت تنش خشکی توسط محققان زیادی گزارش شده است (Shan *et al.*, 2015; Cai *et al.*, 2017; Kulkarni and Swati, 2009; Salehpour *et al.*, 2009). مطالعات مختلف نشان می‌دهد که شرایط تنش خشکی سنگین، عملکرد این گیاه را به شدت کاهش می‌دهد (Kafi *et al.*, 2010a; Solaimani *et al.*, 2008 Masumi, 2011; Salehi, 2011;). به طوری که در مطالعه کافی و همکاران (Kafi *et al.*, 2010) با اعمال تنش سنگین و کاهش ۶۰ درصدی نیاز آبی کوشیا، عملکرد این گیاه نسبت به گیاهان شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) ۵۰ درصد کاهش یافت. در مطالعه سلیمانی و همکاران (Solaimani *et al.*, 2008) در تنش شدید خشکی بر کوشیا نیز کاهش در وزن علوفه‌ی تر و خشک به‌ترتیب نسبت به شرایط بدون تنش ۷۱ و ۴۹ درصد گزارش شد. تنش خشکی سنگین در کوشیا علاوه بر کاهش وزن اندام هوایی سبب کاهش وزن تر و خشک ریشه نسبت به گیاهان بدون تنش و تحت تنش ملایم به دلیل کاهش میزان فتوسنتز می‌شود (Masoumi, 2011).

با توجه به کمبود علوفه در ایران جهت تغذیه دام‌های اهلی، یکی از پایدارترین روش‌ها جهت حفظ اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده از گیاهانی با تحمل به شوری و خشکی بالا نظیر کوشیا است که می‌تواند مکمل غذایی مفید برای دام در این گونه مناطق باشد. از طرفی نحوه تخصیص ماده خشک در شرایط تنش بین دو بخش هوایی و زمینی نیز در این گیاه بسیار مهم می‌باشد. بنابراین هدف این مطالعه گلخانه‌ای بررسی رشد ریشه و اندام هوایی کوشیا تحت شرایط تنش خشکی است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی در مراحل رشد رویشی و زایشی بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی گیاه کوشیا توده محلی سبزوار آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد از ۹۲-۱۳۹۱ انجام شد. نه تیمار خشکی در نظر گرفته شده شامل: وضعیت رطوبتی مطلوب

(۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) در کل دوره رشد گیاه (شاهد)، تنش ملایم خشکی (۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) در مرحله رویشی، تنش شدید خشکی (۳۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) در مرحله رویشی، تنش ملایم در مرحله زایشی، تنش شدید در مرحله زایشی، تنش ملایم در مرحله رویشی و تنش شدید در مرحله زایشی، تنش شدید در مرحله رویشی و تنش ملایم در مرحله زایشی، تنش ملایم در کل دوره رشد گیاه، تنش شدید در کل دوره رشد گیاه بودند.

برای انجام آزمایش از گلدان‌های سطلی بزرگ با قطر دهانه ۳۹، قطر کف ۲۶ و ارتفاع ۴۱ سانتی‌متر با وزن ۹۵۰ گرم استفاده شد که با ۳۰ کیلوگرم خاک لومی شنی پر شدند. در ۱۵ اسفند در هر گلدان پنج بذر با فواصل یکسان به‌صورت سطحی کشت شد و پس از آن در همه گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی آبیاری انجام شد. پس از سبز شدن (در ۱۷ اسفند ماه) و استقرار کامل (۱۸ فروردین ماه که ارتفاع گیاه به‌طور متوسط ۱۰ سانتی‌متر بود) تعداد دو گیاه را باقی گذاشته و بقیه بوته‌ها حذف شدند. برای تعیین میزان آب مورد نیاز هر گلدان در هر بار آبیاری، در ابتدای آزمایش ظرفیت زراعی خاک مورد نظر مشخص شد. بدین منظور ۵ گلدان با وزن و اندازه یکسان انتخاب و درون تمام آن‌ها به میزان مساوی از خاک تهیه شده برای آزمایش پر شد. سپس با محاسبه تخلخل خاک که در مطالعات فیزیک خاک با رطوبت اشباع خاک برابر است (Kirkham, 2005) گلدان‌ها از میزان آب کافی اشباع شدند و بعد در زیر نایلون قرار گرفتند تا آب تنها از طریق ثقلی خارج شود و وزن آن‌ها هر هشت ساعت یادداشت شد. زمانی که منحنی خروج آب ثابت شد با توزین گلدان‌ها میزان آب در ظرفیت زراعی مشخص گردید و دو سطح دیگر تنش بر مبنای درصدی از ظرفیت زراعی اعمال شد که با توجه به اهمیت موضوع این کار سه نوبت تکرار شد. سپس به‌صورت روزانه گلدان‌ها وزن گردید تا در صورت کمتر بودن وزن آن‌ها از حد معین و بر اساس کمبود آب نسبت به سطح مورد نظر، میزان آب مورد نیاز جهت تأمین رطوبت مورد نظر، به هر گلدان اضافه شود. در این میان ۷ نمونه‌گیری تخریبی (به فواصل ۱۴ روز از ۱۸ فروردین تا ۱۸ مردادماه) جهت اندازه‌گیری زیست‌توده گیاهی انجام شد تا در محاسبه آب مورد نیاز هر تیمار خللی ایجاد نکند. در مجموع هر تیمار دارای ۸ گلدان (۷ گلدان جهت نمونه‌گیری تخریبی و یک گلدان عملکرد علوفه در نظر گرفته شد) در هر تکرار و تعداد کل گلدان‌های آزمایش ۲۱۶ عدد بود. تنش رویشی از زمان استقرار گیاه تا آغاز ایجاد گل آذین در ساقه اصلی و تنش زایشی از آغاز ایجاد گل آذین در ساقه اصلی تا گرده‌افشانی در نظر گرفته شد.

برای اندازه‌گیری پارامترهای اندام هوایی، ابتدا ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های جانبی ثبت شد و سپس بوته‌ها از سطح خاک جدا شدند. پس از تفکیک برگ و ساقه، وزن تر آن‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد و از مجموع آن‌ها وزن تر اندام هوایی به‌دست آمد. در نهایت برگ و ساقه بوته‌های برداشت شده در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و پس از توزین وزن خشک آن‌ها یادداشت شد. سطح برگ نیز با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل LI-COR) تعیین شد. سپس اقدام به در آوردن کامل ریشه شد. برای خارج کردن ریشه از خاک، ۱۲ ساعت قبل از آن برای خیس شدن کامل خاک گلدان، آبیاری به طور کامل انجام شد. پس از خیس شدن کامل، هر گلدان به روی یک صفحه فلزی توری در سکویی که برای شستشوی گلدان‌ها تعبیه شده بود منتقل شد و محتویات گلدان و ریشه به آهستگی با آب شسته شدند و ریشه به طور سالم از خاک جدا و وزن شد. سپس مستقیماً طول ریشه‌ها بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. حجم ریشه با روش غوطه‌وری در آب مقطر در درون استوانه مدرج و وزن تر با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. سطح ریشه‌ها با استفاده از روش اتکینسون از فرمول علیزاده (Alizadeh ۲۰۰۹,) محاسبه شد:

{طول ریشه‌ها (سانتی‌متر) ×۳/۱۴×حجم ریشه‌ها (سانتی‌متر مکعب)}$^{۰/۵}$ × ۲=سطح ریشه‌ها (سانتی‌متر مربع)

وزن خشک ریشه، پس از قرار دادن ریشه‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و توزین آن‌ها به‌دست آمد. در نهایت نسبت طول ریشه به ارتفاع اندام هوایی و نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی محاسبه شدند. تمامی اندازه‌گیری‌ها در مرحله گرده‌افشانی که گیاه دارای نسبت مناسبی از برگ و ساقه است و هنوز ساقه خشبی نشده بود (۱۸ مرداد ماه) انجام شد. برای تجزیه آماری داده‌ها و تعیین روابط صفات با یکدیگر از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته، طول ریشه و نسبت طول ریشه به ارتفاع بوته:

بوته: اثر تنش خشکی بر میانگین ارتفاع بوته کوشیا از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین ارتفاع بوته را تیمار شاهد داشت و بین این تیمار با تیمار بدون تنش- ملایم و بدون تنش-شدید تفاوتی از نظر آماری مشاهده نشد (شکل۱-a). کمترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار تنش شدید خشکی در کل دوره رشد گیاه بود که نسبت به تیمار شاهد ۴۸/۹ درصد کاهش داشت (شکل ۱-a). در مطالعه‌ی معصومی (Masoumi, 2011) و کریمیان و همکاران (Karimian *et al.*, 2015) نیز تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته کوشیا شد. مریستم‌های انتهایی، سلول‌های جدید را در انتهای ساقه یا ریشه تولید می‌کنند که سبب افزایش ارتفاع یا طول گیاه می‌شود. در شرایط تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی باعث کاهش فشار تورژسانس سلول‌های ساقه

که در حال ازدیاد طول می‌باشند، می‌شود و از طرفی تولید مواد فتوسنتزی نیز در گیاه کاهش می‌یابد که این امر موجب کاهش سنتز پروتئین و تنزل رشد و بزرگ شدن سلول می‌شود که در نهایت کاهش ارتفاع بوته در گیاه اتفاق می‌افتد (Kafi *et al.*, 2010b).

ارتفاع بوته از جمله صفاتی است که در گیاهان علوفه‌ای همواره مورد توجه بوده است و افزایش آن به‌عنوان صفتی در ارتباط با عملکرد می‌تواند محققان را در جهت افزایش میزان علوفه تولیدی کمک کند (Solaimani *et al.*, 2008; Nabati *et al.*, 2011).

جدول ۱- میانگین مربعات اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های اندام هوایی کوشیا

Table 1- Mean Squares of the effect of the drought stress on foliage parameters of Kochia

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Branch number	سطح برگ Leaf area	وزن تر بوته (Fresh weight) برگ Leaf	وزن تر بوته (Fresh weight) ساقه Stem	وزن تر بوته (Fresh weight) اندام هوایی Total	وزن خشک بوته (Dry weight) برگ Leaf	وزن خشک بوته (Dry weight) ساقه Stem	وزن خشک بوته (Dry weight) اندام هوایی Total
Drought خشکی	8	1395.64**	1.60 ns	34347561**	529.13**	202.16**	1385.43**	50.99**	19.33**	137.66**
خطا Error	18	11.44	0.02	477.06	14.68	5.61	38.45	1.42	0.58	3.65
کل Total	26									
C.V (%)ضریب تغییرات		5. 9	7.4	6.3	7.4	9.1	8.5	4.3	5.8	6.4

ns و ** به‌ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

ns and ** are no-Significant, Significant at the 0.01 level of probability, respectively.

جدول ۲- میانگین مربعات اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریشه کوشیا

Table 2- Mean Squares of the effect of the drought stress on root traits of Kochia

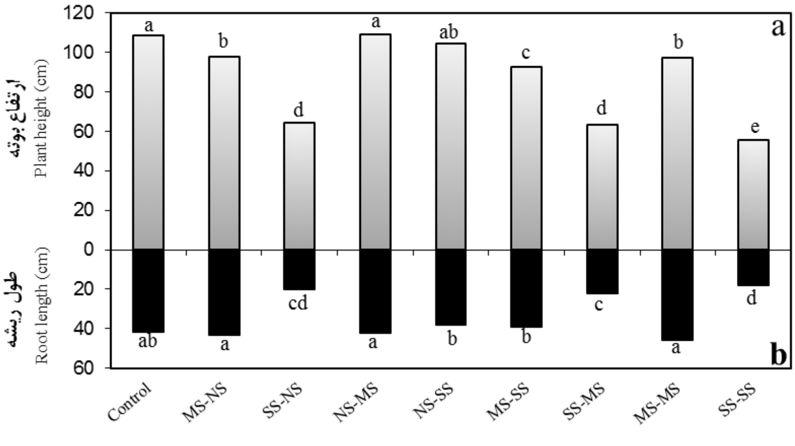
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	طول ریشه Root length	نسبت طول ریشه به ارتفاع اندام هوایی Root/Shoot	سطح ریشه Root area	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry Weight	نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی Root/Shoot	حجم ریشه Root volume
خشکی Drought	8	44.91**	0.081**	4588.42**	93.62 **	3.59 **	0.05 ns	345.13 **
خطا Error	18	5.51	0.001	56.58	2.51	0.10	0.009	9.28
کل Total	26							
ضریب C.V (%) تغییرات		5.4	6.2	9.1	9.4	3.1	8.7	5.7

ns و ** به‌ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

ns and ** are no-Significant, Significant at the 0.01 level of probability, respectively.

بیشترین طول ریشه در تیمار تنش ملایم در کل دوره رشد گیاه مشاهده شد و بین این تیمار با تیمارهای شاهد، ملایم- بدون تنش، بدون تنش-ملایم تفاوت معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد (جدول ۲ و شکل ۱-b). نتایج حاصل از اندازه‌گیری طول ریشه در بررسی Niakan and Ghorbanli (2007) در گیاه سویا (*Glycine max*) و Cai *et al.* (2017) در گیاه ذرت (*Zea mays*) نشان داد که هیچ‌گونه اختلاف معنی‌دار بین گیاهان شاهد و تحت تنش ملایم وجود ندارد. طول ریشه به‌واسطه‌ی قدرت جذب آب از قسمت‌های پایین خاک که در تنش خشکی نسبت به سطح خاک دارای رطوبت بیشتری است، بسیار اهمیت دارد و گیاه در برابر خشکی، ترجیح می‌دهد بیشتر

تولید فتوسنتز خود را به تجمع مادهٔ خشک در ریشه اختصاص دهد تا این ماده را در ساقه و اندام هوایی ذخیره کند، زیرا با این کار توانایی خود را برای جذب مقدار بیشتری از آب موجود در خاک حفظ خواهد کرد (Li *et al.*, 2011). بنابراین به‌طور معمول ریشه‌ها عمیق‌تر می‌شوند و سرعت رشد ریشه افزایش می‌یابد، که این کار با افزایش جذب آب، عملکرد را در گیاهان افزایش می‌دهد (Correa de Souza *et al.*, 2016). بسیاری از محققین نیز نتایج مشابهی را مبنی بر افزایش طول ریشه بر اثر تنش خشکی و محدودیت آب در گیاهان مختلف گزارش کرده‌اند (Kargar *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2011; Shan *et al.*, 2015; Correa de Souza *et al.*, 2016).



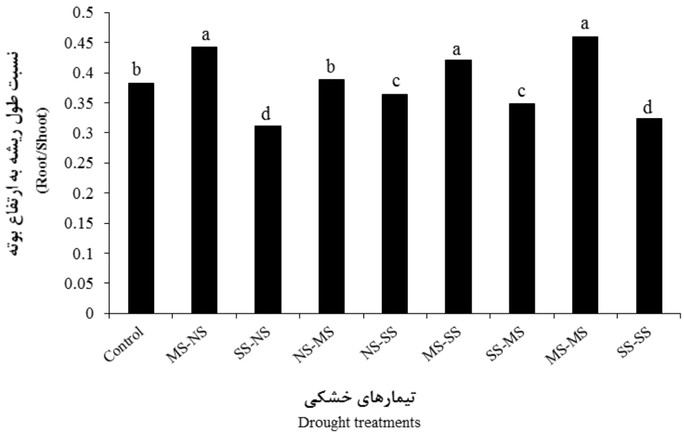
شکل ۱- مقایسه میانگین ارتفاع بوته (a) و طول ریشه (b) کوشیا در تیمارهای مختلف تنش خشکی. شاهد (NS= No Stress)، تنش ملایم ۷۰ درصد ظرفیت زراعی (MS =Moderate Stress) و تنش شدید ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (SS= Serious Stress). اولین حروف اختصاری از پایین مربوط به تیمار در دوره رویشی و دومین حروف اختصاری بعد از خط فاصله بیانگر تیمار در مرحله زایشی می‌باشد. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارد.

Figure 1- Mean comparison of height plant (a) and length root (b) of Kochia under different drought stress treatments. (No Stress =NS), (Moderate Stress= MS) and (Serious Stress= SS). The first acronyms from the bottom are related to the treatment in the vegetative period and the second acronyms after the distance line indicate the treatment in the reproductive stage. Columns that have at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level based on the LSD test.

به‌علاوه کمترین میزان طول ریشه نیز در تنش شدید در کل دوره رشد گیاه مشاهده شد (شکل۱-b) که با نتایج معصومی (Masoumi, 2011) در کوشیا مطابقت دارد. ساکی نژاد و همکاران (Saki nejad *et al.*, 2010) گزارش کردند که تنش خشکی ملایم به افزایش طول ریشه و تنش شدید کاهش در رشد ریشه را موجب می‌شود. وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2009) در بررسی‌های خود اظهار داشتند که در اثر تنش آبی، طول ریشه اصلی به دلیل تنش شدید به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌علاوه با توجه به این‌که محصولات یک ساله معمولاً حداکثر طول ریشه‌ی خود را در زمان گرده‌افشانی تکمیل می‌کنند (Aliabadi farahani *et al.*, 2008) بنابراین وقوع تنش چه در مرحله رویشی و چه در مرحله زایشی بر روی طول ریشه مؤثر بود (شکل۱-b).

اثر تنش خشکی بر روی نسبت طول ریشه به ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین نسبت طول ریشه به ارتفاع بوته در تیمار تنش ملایم در کل دوره گیاه مشاهده شد و بین این تیمار با تیمارهای ملایم- بدون تنش و ملایم- شدید از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). تیمارهای شاهد و بدون تنش- ملایم هر دو با ۱۵/۵۶ درصد کاهش نسبت به تیمار ملایم در رتبه دوم قرار گرفتند (شکل ۲). تیمارهای بدون تنش- شدید و شدید- ملایم در رتبه بعدی و شدید- بدون تنش و شدید- شدید در رتبه چهارم قرار گرفتند (شکل ۲). شرایط تنش خشکی نسبت ریشه به اندام هوایی را در غالب گیاهان افزایش می‌دهد (Kafi *et al.*, 2010b; Asghari *et al.*, 2014; Shan *et al.*, 2015; Cai *et al.*, 2017). افزایش نسبت طول ریشه به ارتفاع بوته را می‌توان به توسعه بیشتر ریشه در مراحل اولیه رشد برای جذب حداقل آب قابل دسترس و کمبود فشار تورگر برای گسترش و توسعه اندام‌های هوایی در تیمار تنش خشکی مربوط دانست.

از طرفی افزایش این نسبت منجر به کاهش سطح تعرق از گیاه می‌شود. بنابراین افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی، یکی از راه‌های سازگاری گیاهان به شرایط خشک می باشد (Cai *et al.*, 2017). این در حالی است که فراهمی رطوبت در تیمار شاهد باعث افزایش بیوماس اندام‌های هوایی نسبت به ریشه و در نتیجه کاهش نسبت ریشه به اندام هوایی در مقایسه با شرایط تنش ملایم در کل دوره شده است. از آن‌جایی که نسبت بالاتر ریشه به اندام‌های هوایی باعث بهبود توان گیاه برای افزایش تحمل به خشکی می‌شود، لذا اغلب متخصصین فیزیولوژی این نسبت را به‌عنوان یک معیار مناسب برای گزینش گیاهان و نیز ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی می‌نمایند (Alizadeh, 2009; Kafi *et al.*, 2010b).

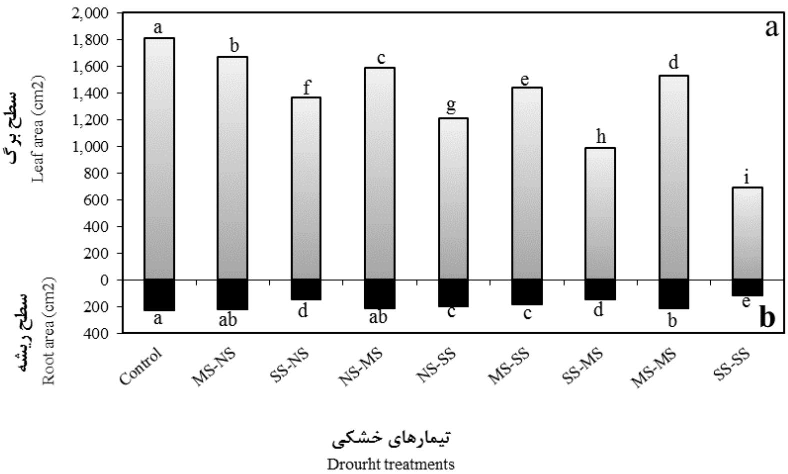


شکل ۲- مقایسه میانگین نسبت طول ریشه به ارتفاع بوته کوشیا در تیمارهای مختلف تنش خشکی. شاهد (NS= No Stress)، تنش ملایم۷۰ درصد ظرفیت زراعی (MS =Moderate Stress) و تنش شدید ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (SS= Serious Stress). اولین حروف اختصاری از پایین مربوط به تیمار در دوره رویشی و دومین حروف اختصاری بعد از خط فاصله بیانگر تیمار در مرحله زایشی می‌باشد. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

Figure 2- Mean comparison of root/shoot ratio of Kochia under different drought stress treatments. (No Stress =NS), (Moderate Stress= MS) and (Serious Stress= SS). The first acronyms from the bottom are related to the treatment in the vegetative period and the second acronyms after the distance line indicate the treatment in the reproductive stage. Columns that have at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level based on the LSD test.

سطح برگ و سطح ریشه در اثر تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جداول ۱ و ۲ و شکل۳). در تیمار شاهد، سطح برگ در سرتاسر فصل رشد به دلیل فراهمی رطوبت و تأمین فشار تورگر لازم برای رشد و توسعه برگ، بیشتر از تیمارهای دیگر بود (شکل۳–a). تیمارهای ملایم- بدون تنش، بدون تنش- ملایم، ملایم- ملایم، ملایم- شدید، شدید- بدون تنش، بدون تنش- شدید، شدید- ملایم، به‌ترتیب ۷/۲۱، ۱۲/۳۲، ۱۵/۴۷، ۲۰/۵۲، ۲۴/۸۲، ۳۳/۰۶، ۴۵/۴۴ درصد نسبت به شاهد کاهش داشتند (شکل۳–a). اما در تیمار تنش شدید در کل دوره رشد گیاه، کمترین سطح برگ مشاهده شد که این کاهش نسبت به شاهد ۶۱/۸۴ درصد بود (شکل۳–a). در ابتدای رشد در گیاه آغازه‌های زیادی از برگ شکل می‌گیرد که در شرایط مطلوب و ایده‌آل همه آن‌ها پتانسیل ایجاد برگ را دارند، اما شرایط نامناسب رشدی و تنش‌های محیطی سبب مرگ آغازه‌های برگ‌ها می‌شوند. تنش خشکی در گیاهان باعث می‌شود کاهش محتوای نسبی آب و به تبع آن کوچک شدن اندازه سلول‌ها، کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی و در نتیجه کند شدن رشد برگ، توقف تولید برگ، تسریع پیری و ریزش برگ‌ها اتفاق بیفتـــــد و در نتیجه از تعداد برگ و همچنین از سطح برگ گیاهان کاسته شود (Kafi *et al*., 2010b; Cakir, 2004). کاهش سطح برگ کوشیا تحت تنش خشکی توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (Solaimani *et al*., 2008; Masoumi, 2011; Salehi, 2011).

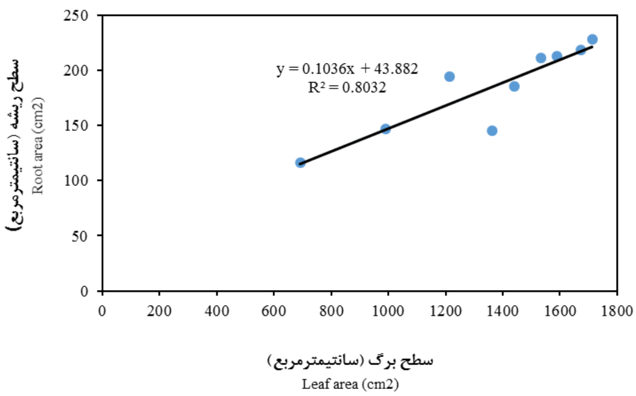
بیشترین سطح ریشه در تیمار شاهد مشاهده شد و بین این تیمار با تیمارهای تنش ملایم- بدون تنش و بدون تنش- ملایم تفاوتی از نظر آماری وجود نداشت (شکل۳–b). از طرفی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که این دو تیمار با تیمار تنش ملایم در کل دوره رشد گیاه نیز تفاوت معنی‌داری از نظر آماری ندارند (شکل ۳–b). تیمار بدون تنش- شدید و تیمار تنش ملایم- شدید نیز در رتبه بعدی از نظر سطح ریشه قرار گرفتند. تیمارهای تنش شدید- بدون تنش و بدون تنش- ملایم به‌ترتیب با ۳۵/۶ و ۳۶/۱ درصد کاهش نسبت به شاهد در رتبه چهارم جای گرفتند. کمترین سطح ریشه نیز در تیمار تنش شدید در کل دوره رشد با ۴۶/۵ درصد کاهش نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ۳–b). کاهش سطح ریشه در شرایط تنش خشکی توسط دیگر محققین نیز بیان شده است (Asghari *et al*., 2014; Musavi fazl *et al*., 2015; Cai *et al*., 2017). در هنگام وقوع خشکی محتوای رطوبتی خاک به شدت کاهش می‌یابد، بنابراین اندک مولکول‌های آب موجود در خاک تحت این شرایط به‌وسیله نیروی مکش زیادی از طرف ذرات ریز خاک (پتانسیل ماتریک خاک) به شدت جذب می‌شوند. از این‌رو جهت قابل دسترس ساختن این مقدار آب برای گیاهان که بسیار حیاتی است باید سطح تماس بین ریشه‌ها و ذرات خاک افزایش یابد (Alizadeh, 2009).



شکل ۳- مقایسه میانگین سطح برگ (a) و سطح ریشه (b) کوشیا در تیمارهای مختلف تنش خشکی. شاهد (NS= No Stress)، تنش ملایم ۷۰ درصد ظرفیت زراعی (MS =Moderate Stress) و تنش شدید ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (SS= Serious Stress). اولین حروف اختصاری از پایین مربوط به تیمار در دوره رویشی و دومین حروف اختصاری بعد از خط فاصله بیانگر تیمار در مرحله زایشی می‌باشد. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

Figure 3- Mean comparison of leaf area (a) and root area (b) of Kochia under different drought stress treatments. (No Stress =NS), (Moderate Stress= MS) and (Serious Stress= SS). The first acronyms from the bottom are related to the treatment in the vegetative period and the second acronyms after the distance line indicate the treatment in the reproductive stage. Columns that have at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level based on the LSD test.

بنابراین بسیاری از گیاهان، ریشه‌های فرعی تولید می‌کنند که سطح این ریشه‌ها کوچک بوده و شامل تارهای کشنده تک سلولی می‌باشند. وجود این ریشه‌های فرعی به توسعه سیستم ریشه‌ای کمک نموده و موجب افزایش توانایی آن در جذب آب می‌شود (Asghari *et al.*, 2014). اما در مجموع تحت شرایط تنش خشکی ریشه گیاه به علت از دست دادن اتساع سلولی و کاهش فعالیت میتوزی یا مهار طویل شدن سلول‌ها دچار کاهش سطح می‌شود (Shah *et al.*, 2008). همبستگی مثبت بین سطح برگ و سطح ریشه مشاهده شد (شکل ۴). هرچه سطح برگ بیشتر شود به تبع آن سطح ریشه نیز بیشتر می‌شود.



شکل ٤- رابطه بین سطح برگ و سطح ریشه کوشیا

Figure 4- The relationship between leaf area and root area of Kochia

تعداد شاخه جانبی و وزن تر و خشک برگ و ساقه:

افزایش تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه جانبی در بوته کوشیا نداشت (جدول ۳). گزارش‌ها حاکی از آن است که کوشیا در شرایط مختلف محیطی توانایی بالایی در تولید شاخه جانبی دارد

(Soleimani *et al.*, 2008; Ziaee *et al.*, 2008; Salehi, *et al.*, 2009; Karimian *et al.*, 2015). تعداد شاخه جانبی در کوشیا می‌تواند به‌عنوان صفتی جهت افزایش درصد برگ و افزایش خوش خوراکی این علوفه مطرح باشد، زیرا این شاخه‌ها نسبت به ساقه اصلی در استحکام و نگهداری گیاه نقش کمتری داشته و از بافت‌های خشبی کمتری نیز برخوردارند (Nabati *et al.*, 2011).

وزن تر و خشک برگ و ساقه تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین میزان این ویژگی‌ها در تیمار شاهد مشاهده شد و بعد از شاهد ۳ تیمار تنش ملایم- بدون تنش، بدون تنش- ملایم و تنش ملایم در کل دوره رشد گیاه بدون تفاوت معنی‌دار در رتبه دوم بودند (جدول ۳). در تیمار شاهد بیشترین وزن برگ به‌دست آمد که به فتوسنتز بیشتر و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی بیشتر جهت رشد دیگر اندام‌ها مانند ساقه منجر شد (جدول ۳). کمترین میزان وزن تر و خشک برگ در تیمار تنش شدید در کل دوره گیاه مشاهده شد (جدول ۳). سلیمانی و همکاران (Solaimani *et al.*, 2008) نیز کاهش وزن تر و خشک ساقه و برگ در کوشیا تحت شرایط تنش خشکی را گزارش کرد. یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، در تیمارهای تحت تنش کاهش آماس سلولی است. این کاهش فشار تورژسانس موجب می‌شود تا آب کمتری در درون سلول‌ها باقی بماند و در نتیجه سبب کاهش وزن و حجم سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها می‌شود. به‌طور کلی کاهش مقدار تولید ماده‌ی تر و خشک در اندام‌های گیاهی تحت تنش خشکی از طریق سه مکانیسم کلی کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی، کاهش کارآیی مصرف نور و کاهش در تبادل گازکربنیک به ازای واحد نور جذب شده قابل بیان است (Waldron *et al.*, 2010; Karimian *et al.*, 2015).

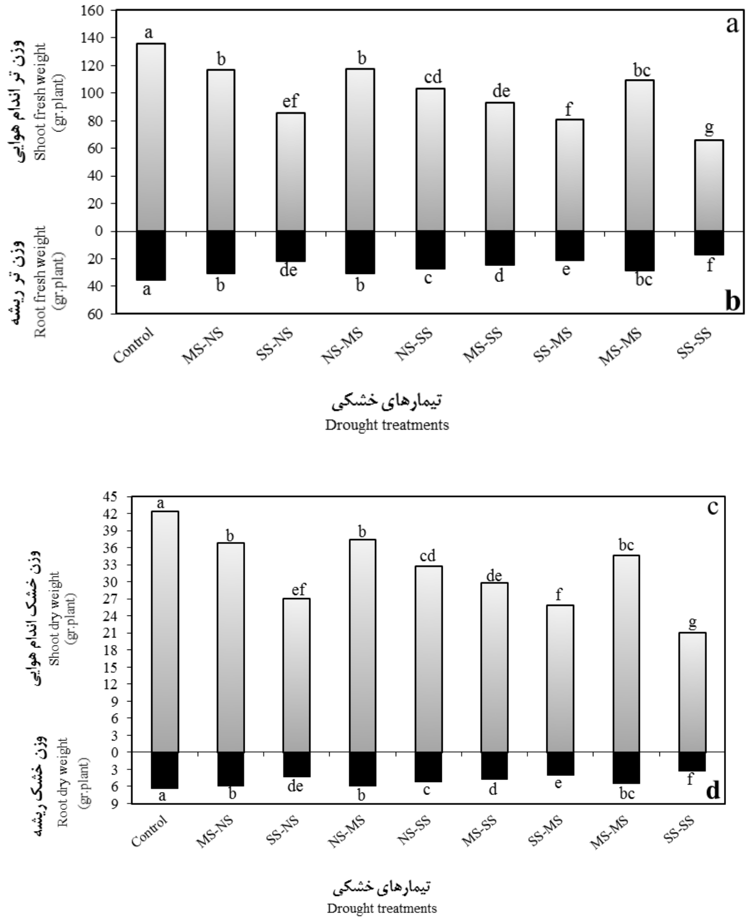
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر تعداد شاخه جانبی و وزن تر و خشک برگ و ساقه کوشیا

Table 3- Mean comparison of the effect of the drought stress on number of lateral branches and leaf and stem fresh and dry weight of kochia

	Drought stress تیمار خشکی									
صفات Traits	شاهد Control (No stress)	تنش ملایم در مرحله رویشی MS-NS	تنش شدید در مرحله رویشی SS-NS	تنش ملایم در مرحله زایشی NS-MS	تنش شدید در مرحله زایشی NS-SS	تنش ملایم در مرحله رویشی و شدید در زایشی MS-SS	تنش شدید در مرحله رویشی و تنش ملایم در مرحله زایشی SS-MS	تنش ملایم کل دوره رشد MS-MS	تنش شدید کل دوره رشد SS-SS	LSD 0.05
تعداد شاخه جانبی Branch number (g.plant)	34.16	32.50	33.86	32.96	33.53	33.43	32.76	33.06	32.50	2.24
وزن تر برگ Leaf fresh weight (g.plant)	83.78	72.36	52.94	72.46	63.87	57.65	50.16	67.53	40.88	6.57
وزن تر ساقه Stem fresh weight (g.plant)	51.78	44.73	32.72	44.79	39.48	35.64	31	41.74	25.26	4.06
وزن خشک برگ Leaf dry weight (g.plant)	26.14	22.77	16.70	23.15	20.29	18.40	15.94	21.37	12.98	2.04
وزن خشک ساقه Stem dry weight	16.22	14.07	10.38	14.24	12.53	11.44	9.89	13.27	8.05	1.31

(No Stress =NS), (Moderate Stress= MS) and (Serious Stress= SS).

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی: بین تیمارهای تنش خشکی از نظر وزن تر و خشک اندام هوایی اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت (جدول ۱). بیشترین وزن تر اندام هوایی در تیمار شاهد مشاهده شد و میزان کاهش این صفت در تیمارهای ملایم- بدون تنش، شدید- بدون تنش، بدون تنش- ملایم، بدون تنش- شدید، ملایم- شدید، شدید- ملایم، تنش ملایم در کل دوره رشد گیاه به‌ترتیب ۱۳/۶۲، ۳۶/۸۱، ۱۳/۵۱، ۲۳/۷۶، ۳۱/۱۸، ۴۰/۱۳ و ۱۹/۳۹ درصد نسبت به شاهد بود (شکل۵-a). میزان وزن خشک در شاهد، ملایم- بدون تنش، شدید- بدون تنش، بدون تنش- ملایم، بدون تنش- شدید، ملایم- شدید، شدید- ملایم، تنش ملایم در کل دوره رشد و تنش شدید در کل دوره رشد گیاه به‌ترتیب ۴۲/۹۳، ۳۶/۷۵، ۲۷/۰۹، ۳۷/۲۹، ۳۲/۸۰، ۲۹/۷۲، ۲۵/۷۶، ۳۴/۶۹ و ۲۱ گرم در بوته بود که در شاهد بیشترین بود (شکل ۵-c). کمترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمار تنش شدید در کل دوره رشد مشاهده شد که میزان این کاهش نسبت به شاهد در وزن تر و خشک به‌ترتیب ۵۱/۲۱ و ۵۰/۳۵ درصد بود (شکل‌های ۵-a و ۵-c).

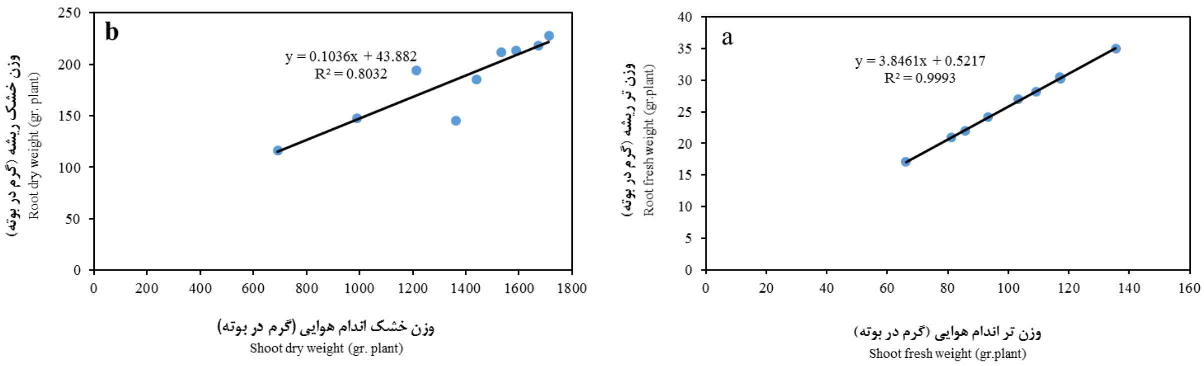


شکل ۵- مقایسه میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی (a و c) و ریشه (b و d) کوشیای تحت تیمارهای مختلف تنش خشکی. شاهد (No Stress =NS)، تنش ملایم ۷۰ درصد ظرفیت زراعی (MS =Moderate Stress) و تنش شدید ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (SS= Serious Stress). اولین حروف اختصاری از پایین مربوط به تیمار در دوره رویشی و دومین حروف اختصاری بعد از خط فاصله بیانگر تیمار در مرحله زایشی می‌باشد. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

Figure 5- Mean comparsion of fresh and dry weight of shoot (a, c) and root (b, d) of Kochia under different drought stress treatments. (No Stress =NS), (Moderate Stress= MS) and (Serious Stress= SS). The first acronyms from the bottom are related to the treatment in the vegetative period and the second acronyms after the distance line indicate the treatment in the reproductive stage. Columns that have at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level based on the LSD test.

با توجه به این‌که میزان فتوسنتز تنش خشکی شدید کل دوره نسبت به تیمارهای بدون تنش- شدید و ملایم- شدید بیشتر بود اما میزان زیست‌توده نهایی آن به دلیل تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی و صرف هزینه مازاد انرژی جهت تولید ترکیبات محافظ در گیاه نظیر کاروتنوئیدها، اسمولیت‌ها، آنتی‌اکسیدانت‌ها و غیره به کاهش میزان وزن خشک این تیمار انجامید. در مطالعه دیگر محققین نیز اعمال تنش خشکی شدید، عملکرد این گیاه را نسبت به شاهد به شدت کاهش داد (Masoumi, 2011; Salehi, 2011; Kafi *et al.*, 2010a; Solaimani *et al.*, 2008; Karimian *et al.*, 2015). به طوری که در مطالعه (Kafi *et al.*, 2010a) با اعمال تنش سنگین و کاهش ۶۰ درصدی نیاز آبی کوشیا، عملکرد این گیاه نسبت به گیاهان شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) ۵۰ درصد کاهش یافت. در مطالعه سلیمانی و همکاران (Solaimani *et al.*, 2008). بر روی تنش شدید خشکی در کوشیا نیز کاهش در وزن علوفه‌ی تر و خشک به‌ترتیب نسبت به شرایط بدون تنش ۷۱ و ۴۹ درصد گزارش شد. تنش خشکی سنگین در کوشیا باعث کاهش شدید وزن تر و خشک اندام هوایی نسبت به گیاهان بدون تنش به دلیل کاهش میزان فتوسنتز می‌شود (Masoumi, 2011). کریمیان و همکاران (Kariminan *et al.*, 2015) نیز کاهش ۳۳/۳۷ درصدی در تیمار تنش شدید (۹۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی) نسبت به شاهد گزارش کردند. به‌طور کلی کمبود آب در هر دو مرحله رویشی و زایشی موجب کاهش وزن تر و خشک نسبت به شاهد شد. زیرا زمانی که در شرایط تنش خشکی محدود شدن فتوسنتز، کاهش ارتفاع بوته، سطح و وزن برگ و وزن ساقه صورت می‌گیرد متعاقب آن کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی اتفاق می‌افتد.

وزن تر و خشک ریشه در تیمار شاهد بیشترین بود (شکل‌های ۵-b و ۵-d). تیمار ملایم- بدون تنش در رتبه دوم قرار گرفت و بین این تیمار با دو تیمار بدون تنش- ملایم و تنش ملایم در کل دوره رشد گیاه تفاوتی مشاهده نشد که به‌ترتیب ۱۳/۴، ۱۲/۶ و ۱۹/۳ درصد نسبت به شاهد در وزن تر ریشه کاهش داشتند. رتبه سوم مربوط به تیمار بدون تنش- شدید بود که حدود ۲۳ درصد کاهش نسبت به شاهد داشت. تیمارهای تنش ملایم- شدید، تنش شدید- بدون تنش و شدید- ملایم به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. کمترین میزان این صفات نیز در تیمار تنش شدید در کل دوره رشد گیاه با حدود ۵۱ درصد کاهش نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل‌های ۵-b و ۵-d). نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داده است که با محدود شدن مقدار آب درون خاک، رشد ریشه و در نتیجه‌ی آن، وزن ریشه در گیاهان مختلف کاهش می‌یابد (Shan *et al.*, 2015; Cai *et al.*, 2017; Fang *et al.*, 2017). معصومی (Masoumi, 2011) نیز کاهش وزن تر و خشک ریشه تحت شرایط تنش خشکی در کوشیا را گزارش کرده است.



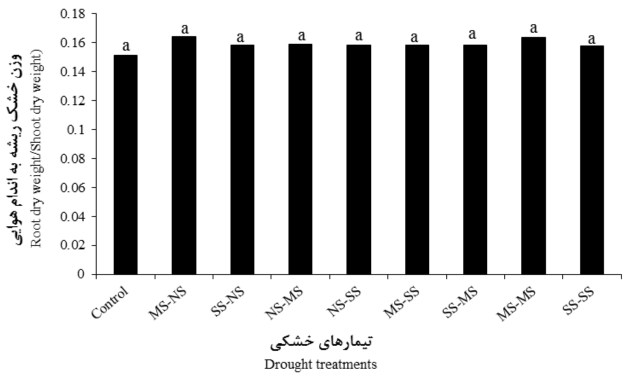
شکل ٦- رابطه بین وزن تر (a) و خشک (b) اندام هوایی و ریشه کوشیا

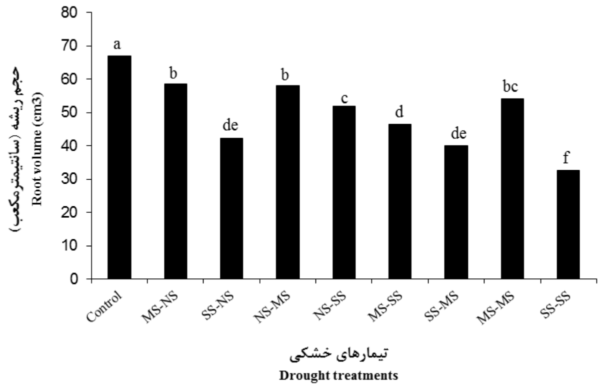
Figure 6- The relationship between shoot and root fresh (a) and dry (b) weight of kochia

در شرایط تنش خشکی و تداوم آن، کاهش رطوبت در منطقه ریشه به‌وجود می‌آید که به دنبال آن کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جذب و انتقال آب و عناصر غذایی اتفاق می‌افتد. سپس مکانیسم‌های تحمل و مقاومت به خشکی توسط گیاه به‌کار گرفته می‌شود و در نتیجه افزایش نیاز به قند برای تنظیم اسمزی سلول رخ می‌دهد که منجر به کاهش دسترسی به مواد فتوسنتزی و انتقال آن‌ها به ریشه‌ها می‌شود. بنابراین وزن تر و خشک ریشه کاهش می‌یابد که البته میزان این کاهش متأثر از شدت تنش، گونه گیاهی و مرحله فنولوژی گیاه است (Saxena, 2003; Fageria *et al.*, 2006; Kafi *et al.*, 2010b). همچنین همبستگی مثبت بین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در شکل ۶-a و b مشاهده شد. که هر چه وزن تر و خشک اندام هوایی افزایش یابد به تبع آن وزن تر و خشک ریشه نیز افزایش می‌یابد.

نسبت وزن خشک ریشه به وزن اندام هوایی معنی‌دار نشد (جدول

۲ و شکل a-۷). این نسبت نشان می‌دهد که خشکی اندام‌های هوایی و زیرزمینی را به‌طور یکسان تحت تأثیر قرار می‌دهد. زیرا این دو بخش از جهات مختلف با یکدیگر در ارتباط می‌باشند و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین آن‌ها وجود دارد چنانچه در رشد یکی از آن‌ها تغییری ایجاد شود در دیگری نیز چنین خواهد شد (شکل a-۷). از آنجایی که رشد بستگی به تأمین کربوهیدرات‌های مورد لزوم از شاخه‌ها دارد عوامل از قبیل تنش خشکی، نور، سایه و سطح برگ‌ها که موجب کاهش فتوسنتز می‌گردند رشد ریشه را نیز تقلیل می‌دهند (Alizadeh, 2009). در شرایط تنش خشکی، تصور می‌شود با توجه به اینکه ریشه‌ها نسبت به اندام‌های هوایی به منبع رطوبت نزدیک‌تر هستند بنابراین کمبود فشار تورگر برای توسعه اندام‌های هوایی نسبت به ریشه‌ها سریع‌تر رخ دهد زیرا ابتدا ریشه‌ها نیاز خود را تأمین می‌نماید و در نتیجه افت وزن آن‌ها نبایستی نسبتاً شدید باشد. اما این نسبت نشان می‌دهد که این تصور نادرست است و تغییرات وزن خشک ریشه از سطح آبی ۳۰ (تنش شدید) به ۱۰۰ (بدون تنش) درصد نیاز آبی گیاه حدود ۵۱ درصد است (شکل d-۵). که نشان می‌دهد که همواره و تحت هر شرایطی یک تناسب یکسان بین اندام هوایی و زیرزمینی گیاه وجود دارد که با نتایج مولر و همکاران (Muler *et al.*, 2011)، موسوی فاضل و همکاران (Musavi fazl *et al.*, 2013) و کای و همکاران (Cai *et al.*, 2017) همخوانی دارد.





شکل ۷- مقایسه میانگین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی (a) و حجم ریشه (b) کوشیای تحت تیمارهای مختلف تنش خشکی. شاهد (No Stress =NS)، تنش ملایم ۷۰ درصد ظرفیت زراعی (MS=Moderate Stress) و تنش شدید ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (SS= Serious Stress). اولین حروف اختصاری از پایین مربوط به تیمار در دوره رویشی و دومین حروف اختصاری بعد از خط فاصله بیانگر تیمار در مرحله زایشی می‌باشد.

Figure 7- Mean comparison of root dry weight/ shoot dry weight ratio (a) and root volume (b) of Kochia under different drought stress treatments. (No Stress =NS), (Moderate Stress= MS) and (Serious Stress= SS). The first acronyms from below are related to the treatment in the vegetative period and the second acronyms after the distance line indicate the treatment in the reproductive stage.

حجم ریشه: با اعمال تنش خشکی، حجم ریشه در تیمارهای مختلف نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۲ و شکل b-۷). به طوری که میزان آن در تیمار تنش ملایم در کل دوره رشد ۱۹/۲۸ درصد کمتر از شاهد بود اگرچه تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با تیمارهای ملایم- بدون تنش، بدون تنش- ملایم و بدون تنش-

شدید از نظر آماری وجود نداشت (شکل ۷-b). کمترین میزان حجم ریشه نیز در تیمار تنش شدید در کل دوره رشد گیاه مشاهده شد که حدود ۵۱/۲۴ درصد نسبت به شاهد کاهش داشت (شکل ۷-b). سایر تحقیقات نیز نشان داده‌اند که در اثر تنش خشکی و محدود شدن آب، مقدار ریشه در واحد حجم خاک کاهش پیدا می‌کند (Saki nejad *et al.*, 2010; Asghari *et al.*, 2014). معصومی (Masoumi, 2011) نیز کاهش حجم ریشه کوشیا در اثر تنش خشکی را نسبت به شرایط بدون تنش گزارش کرد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی رشد ریشه و اندام هوایی در شرایط کم آبی کاهش می‌یابد اما همواره و تحت هر شرایطی یک تناسب یکسان بین این دو بخش گیاه وجود دارد. بیشترین مقدار کمی صفات مورد مطالعه در تیمار شاهد (۱۰۰درصد نیاز آبی در کل دوره رشد گیاه) و کمترین آن در تیمار تنش شدید در کل دوره رشد گیاه به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش می‌توان اظهار نمود که اعمال هر گونه تنش در تولید علوفه سبب کاهش کمیت و برخی از صفات زراعی علوفه تولیدی می‌شود. بیش‌ترین مقدار علوفه در شرایطی به‌دست می‌آید که آب کافی در اختیار گیاه قرار بگیرد تا گیاه ضمن جذب آب و با استفاده از روابط سلولی تعداد و اندازه سلول‌ها و در نتیجه عملکرد را افزایش دهد. اما در نهایت با کاهش ۳۰ درصدی آب آبیاری در تیمارهای تنش ملایم در مرحله رویشی، تنش ملایم در مرحله زایشی و تنش ملایم در کل دوره رشد به‌ترتیب ۱۳/۶۲، ۱۳/۵۱ و ۱۹/۳۹ درصد کاهش عملکرد علوفه در این گیاه مشاهده شد که علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب و عملکرد خوب علوفه می‌توان سطح بیشتری از زمین‌ها را نیز زیر کشت برد.

References

1. Ahmadi, A. 2003. The effect of methods of applied management to preserve or destroy the rangelands of the Shoric and hajue oregions of western Azerbaijan. Iranian journal of regland and desert research 10 (4): 471-489. (in Persian with English abstract).
2. Aliabadi Farahani, H., Lebaschi, M. H., Shiranirad, A. H., Valadabadi, A. R. and Daneshian, J. 2008. Effects of *arbuscular mycorrhizal* fungi, different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency, relative water content and proline accumulation rate of Coriander. Journal of Medicinal Plants Research 2 (6): 125-131.
3. Alizadeh, A. 2009. Water, soil and plant relation. 9th edition, Astane Godse Razavi Press, 484p. (in Persian).
4. Asghari, A., Darghahi, Y., Rasulzadeh, A., and Ahmadian, M. 2014. Evaluation of morphological traits of sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.) under drought stress with using factor analysis .Iranian Journal of Field Crops Research 11 (4): 593-607. (in Persian with English abstract).
5. Cai, Q., Zhang, Y., Sun, Z., Zheng, J., W., Bai, Zhang, Y., Liu, Y., Feng, L., Feng, C., Zhang, Z., Yang, N., Evers, J., and Zhang, L. 2017. Morphological plasticity of root growth under mild water stress increases water use efficiency without reducing yield in maize. Biogeosciences 14: 3851-3858.
6. Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research 89: 1-16.
7. Corrêa de Souza, T., César Magalhães, P., Mauro de Castro, E., Politi Duarte, V., and Oliveira Lavinsky, A. 2016. Corn root morphoanatomy at different development stages and yield under water stress. Pesquisa Agropecuária Brasileira 51 (4): 330-339.
8. Demirevska, K., Samina, L., Vassileva, V., Vaseva, I., Grigorova, B., and Feller, U. 2008. Drought-induced leaf protein alterations in sensitive and tolerant wheat varieties. General and Applied Plant Physiology 34: 79-102.
9. Eric, O., and Robert, E. S. 2007. Regulation of root growth responses to water deficit. In: Jenks M.A, P.M. Hasegawa, S.M. Jain (Eds.), Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops, springer, 33-53.
10. Fageria, N. K., Baligar, V. C., and Clark, R. B. 2006. Physiology of Crop Production. Food Products Press. Binghamton, NY. 345p.
11. Fang, Y., Du, Y., Wang, J., Wu, A., Qiao, S., Xu, B., Zhang, S., Siddique, K. H. M., and Chen, Y. 2017. Moderate Drought Stress Affected Root Growth and Grain Yield in Old, Modern and Newly Released Cultivars of Winter Wheat. Frontiers in Plant Science 8, 672. Published online 2017 May 1. doi: 10.3389/fpls.2017.00672.
12. Friesen, L. F., Beckie, H. J., Warwick, S. I., and Van Acker, R. C. 2009. The biology of Canadian weeds. 138. *Kochia scoparia* (L.) Schrad. Canadian Journal Plant Science 89: 141-167.
13. Jami Al-Ahmadia, M. and M. Kafi. 2007. Cardinal temperatures for germination of *Kochia scoparia* (L.). Journal of Arid Environments 68: 308-314.
14. Kafi, M., Asadi, H. and Ganjeali, A. 2010a. Possible utilization of high-salinity waters and application of low amounts of water for production of the halophyte *Kochia scoparia* as alternative fodder in saline agroecosystems. Agricultural Water Management 97: 139-147.
15. Kafi, M., Borzuei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2010b. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Publications University of Mashhad. 502 p. (in Persian).

16. Kargar, S. M. A., Ghannadha, M. R., Bozorgi-pour, R., Khaje Ahmad attari, A. A., and Babaei, H. R. 2004. An investigation of drought tolerance indices in some soybean genotypes under restricted irrigation conditions. Iranian Journal Agriculture Science 35: 129-142. (in Persian with English abstract).
17. Kirkham, M. B. 2005. Principles of soil and plant water relations. Elsevier Academic Press. 500 pp.
18. Karimian, M. A., Galovi, M., Dahmarde, M., and Kafi, M. 2015. Effect of drought stress and different levels of potassium on qualitative and quantitative yield Kochia (*Kochia scoparia* L.). New Finding in Agriculture 8 (3): 239-250. (in Persian with English abstract).
19. Kulkarni, M., and Swati, P. 2009. Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annum* L.) under water stress. Science Horticulture 120: 159-166.
20. Li, C., Sun, J., Li, F., Zhou, X., Li, Z., Qiang, X., and Guao, D. 2011. Response of root morphology and distribution in maize to alternate furrow irrigation. Agricultural Water Management 98: 1789-1798.
21. Masoumi, A. 2011. Effect of drought stress on physiological characteristics of two ecotypes of Kochia (*Kochia scoparia)* under farm and greenhouse. Ph.D. thesis of Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
22. Muller, B., Pantin, F., Génard, M., Turc, O., Freixes, S., Piques, M., and Gibon, Y. 2011. Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. Journal of Experimental Botany 62: 1715-29.
23. Musavi Fazl, S. H., Alizadeh, A., Ansari, H., and Rezvani Moghaddam, P. 2015. Effect of Different levels of Irrigation Water and Potassium Fertilizer on Root and Shoot Growth of Forage Sorghum. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 4 (8): 747-756. (in Persian with English abstract).
24. Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., Rezvanimoghaddm, P., Masoumi, A., and Zaremehrjerdi, M. 2011. Effect of salinity on forage yield and components yield and morphological traits of Kochia (*Kochia scoparia* L.). Journal of Iranian Crop Science 42 (4): 735-743. (in Persian with English abstract).
25. Niakan, M., and Ghorbanli, M. L. 2007. The effect of drought stress on growth parameters, photosynthetic factors, content of protein, Na and K in shoot and root in two soybean cultivars. The Iranian Journal of botany 8: 17-32. (in Persian with English abstract).
26. Payero Jose, O., Steven Melvin, A. R., Suat Irmak, B. C., and David Tarkalson, A. 2006. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate agricultural water management 84: 101-112.
27. Riasi, A., Danesh Mesgaran, M., Stern, M. D., and Ruiz Moreno, M. J. 2008. Chemical composition, in situ ruminal degradability and post-ruminal disappearance of dry matter and crude protein from the halophytic plants *Kochia scoparia*, *Atriplex dimorphostegia*, *Suaeda arcuata* and *Gamanthus gamacarpus*. Animal Feed Science Technology 141: 209-219.
28. Saki Nejad, T., Bakhshande, A., Boromand Nasab, S., and Payande, K. 2010. Effect of drought stress on corn root growth. Report and Opinion 2 (2): 47-53.
29. Salehi, M. 2011. Salinity and water deficient effects on quantitative and qualitative production and physio-morphological characteristics of *Kochia scoparia*. Ph.D. thesis of Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
30. Salehpour, M., Ebadi, A., Izadi, M., and Jamaati-e-Somarin, S. 2009. Evaluation of water stress and nitrogen fertilizer effects on relative water content, membrane stability index, chlorophyll and some other traits of lentils (*Lens culinaris* L.) under hydroponics conditions. Journal Environment Science 3 (1): 103-109.
31. Saxena, M. P. 2003. Management of Agricultural Drought: Agronomic and Genetic Options. Science Publishers, INC.
32. Shah, F. R., Ahmad, N., Masood, K. R., and Zahid D. M. 2008. The influence of cadmium and chromium on the biomass production of shisham (Dalbergia sissoo roxb.) seedlings. Pakistan Journal Botany 40 (4) 1341-1348.
33. Shan, L., Yang, C., Li, Y., Duana, Y., Geng, D., Li, Z., Zhang, R., Duan, G., Bac, A. 2015. Effects of drought stress on root physiological traits and root biomass allocation of Reaumuria soongorica. Acta Ecologica Sinica 35: 155-159.
34. Siddiqui, Z. S., Shahid, H., Cho, J. L., Park, S. H., Ryu, T. H., and Park, S. C. 2016. Physiological responses of two halophytic grass species under drought stress environment Acta Botnica Croatica 36: 31-38.
35. Solaimani, M. R., Kafi, M., Ziaee, M., and Shabahang, J. 2008. Effect of limited irrigation with saline water on forage yield of two local populations of *Kochia scoparia* L. Schrad, Water and Soil 22 (2): 307-317. (in Persian with English abstract).
36. Waldron, B. L., Eun, J. S., ZoBell, D. R., and Olson, K. C. 2010. Forage kochia (*Kochia prostrata*) for fall and winter grazing. Small Ruminant Research 91: 47-55.
37. Wang, H., Siopongco, J., Wade, L., and Yamauchi, A. 2009. Fractal analysis on root systems of rice plants in response to drought stress. Environment and Experimental Botany 65: 338-344.
38. Ziaee, S. M., Kafi, M., Khazaee, H. R., Shabahang, J., and Soleimani, M. R. 2008. Effect of planting density and cutting frequency on forage and grain yields of kochia (*Kochia scoparia*) under saline water irrigation. Iranian Journal of Field Crops Research 6: 335-342. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 19, No. 3, Fall. 2021, p. 219-232

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۹، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص. ۲۳۲-۲۱۹

The Effect of Drought Stress on Root and Shoot Growth of Kochia (*Kochia scoparia* L.) under Greenhouse Conditions

B. E. Mousavifar[1], H. R. Khazaie[2*], M. Kafi[2]

Received: 23-01-2018
Accepted: 18-09-2018

Introduction: Drought is undoubtedly one of the most important environmental stresses limiting the productivity of crop plants around the world. An optimal partitioning of dry matter between root and shoot, therefore is of crucial importance for crop yield under drought stress. Deficit irrigation strategy and planting crops with low water requirements and low expectations, for example, Kochia is very important under drought stress. Kochia is a salt- and drought-tolerant species that can be grown on drought soils, yielding fodder in quantities approaching that produced by alfalfa. The aim of this greenhouse study was investigating root and shoot growth of Kochia under drought stress conditions.

Materials and Methods: To study the effects of drought stress on root and shoot growth of kochia, a pot experiment was carried out as completely randomized design with three replications in University of Ferdowsi in 2013. There were 9 treatments included control (no stress) (NS-NS=100% field capacity (FC)), moderate drought stress (70% FC) during the vegetative phase (MS-NS), severe drought stress (30% FC) during the vegetative phase (SS-NS), moderate drought stress during the reproductive phase (NS-MS), severe drought stress during the reproductive phase (NS-SS), moderate drought stress during the vegetative phase and severe drought stress during the reproductive phase (MS-SS), severe drought stress during the vegetative phase and moderate drought stress during the reproductive phase (SS-MS), moderate drought stress during total growth period (MS-MS) and severe drought stress during total growth period (SS-SS). At the beginning of anthesis, plant height and branch number were recorded. Then plants were harvested and leaves, stems, and roots were separated. The fresh weight of the organs was recorded. Root volume was measured. Leaf area measured using a leaf area meter (LI-COR model) and root area was measured by Atkinson method. Then, leaves, stems, and roots dried in an oven at 75°C for 48 hours until mass reached and dry weight was recorded. For statistical analysis, analysis of variance (ANOVA) and LSD test were performed using SAS ver. 9.1 software.

Results and Discussion: Results showed that the highest and lowest plant height, leaf area, leaf, stem and total fresh and dry weight observed in control and severe drought stress during growth period, respectively. Significance of traits related to plant aerial parts due to morphological changes of root plants, which is actually a plant response to drought stress. Also, effect of drought stress was significant on root length, area and volume, fresh and dry weight, root length ratio to plant height. The highest and lowest of these traits were observed in control and severe drought stress during growth period, respectively. Drought stress thereby mostly reduced plant height and increased at least root length, leading to higher root/shoot ratio. Most importantly, the length of root was greater in the moderate drought-treated plants than the control plants at the end of the drought and recovery periods. Number of lateral branches and root dry weight/shoot dry weight ratio did not differ significantly with control. Generally, root and shoot growth under drought stress conditions is reduced that the amount of reduction depends on the growth stage of the plant, intensity and duration of the stress.

Conclusions: Finally, this study showed that the maximum amount of Kochia forage was obtained when the water is 100% FC to increase the number and size of the cells and, consequently, increase the yield. However, Kochia forage decreased 19% by decreasing 30% of irrigation water in treatments of moderate stress during total growth period in compared to the control plants. In addition to saving water, more land can be cultivated.

Keywords: Deficit irrigation, Halophyte, Potted study, Root morphology

1- PhD Student of Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: h.khazaie@um.ac.ir)